



⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 50 803 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:
G 01 N 9/24
G 01 N 11/00
H 03 H 9/25

⑲ Aktenzeichen: 198 50 803.4
⑳ Anmeldetag: 4. 11. 1998
㉑ Offenlegungstag: 11. 5. 2000

DE 198 50 803 A 1

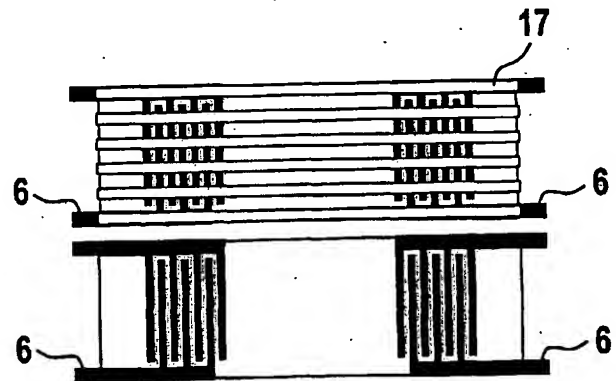
⑦ Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑧ Erfinder:
Hahn, Dietmar, Dr., 70839 Gerlingen, DE; Flik,
Gottfried, Dr., 71229 Leonberg, DE; Herrmann, Falk,
71229 Leonberg, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤ Sensoranordnung und ein Verfahren zur Ermittlung der Dichte und der Viskosität einer Flüssigkeit

⑤ Es wird eine Sensoranordnung zur Ermittlung der Dichte und der Viskosität einer Flüssigkeit vorgeschlagen, mit einer Anordnung aus mindestens zwei Sensorgrundelementen, von denen mindestens eines mit der Flüssigkeit benetzbar ist und mit elektro-akustischen Wandlern (6) in den Sensorgrundelementen zur Erzeugung und Detektion akustischer Oberflächenwellen, aus deren Ausbreitungsverhalten entlang einer Messstrecke ein Maß für die Dichte und die Viskosität der Flüssigkeit ermittelbar ist. Im Bereich mindestens eines der Sensorgrundelemente sind parallel zur Ausbreitungsrichtung der akustischen Oberflächenwelle, in der jeweiligen Messstrecke verlaufende Flüssigkeitsfallen (17) für die Flüssigkeit angeordnet.



DE 198 50 803 A 1

Beschreibung

Stand der Technik

Die Erfindung betrifft eine Sensoranordnung zur Ermittlung der Dichte und Viskosität von Flüssigkeiten und ein Verfahren zur Durchführung dieser Ermittlung nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

Allgemein wird bei einer Dichtemessung die Masse eines bekannten Flüssigkeitsvolumens mit einfachen Messanordnungen ermittelt. Außerdem kann auch die Resonanzverstimmung zur Bestimmung der Dichte in einem von der untersuchten Flüssigkeit durchströmten Rohr in einer akustischen Messanordnung ermittelt und ausgewertet werden. Zur Viskositätsmessung der Flüssigkeit sind die sogenannte Rotationsviskosimetrie und die Fallkugelviskosimetrie als hinlänglich bekannte Messmethoden anwendbar. Allen genannten Methoden ist gemeinsam, daß die beiden Meßgrößen Dichte und Viskosität mit unterschiedlichen Geräten ermittelt werden müssen, die jeweils einen hohen Raumbedarf haben, bei hohen Anforderungen an die Meßgenauigkeit kostenintensiv sind und zur Messung relativ große Flüssigkeitsvolumina benötigen.

Aufgrund einer immer häufiger werdenden Notwendigkeit der Miniaturisierung und Systemintegration besteht ein Bedarf an kompakten und kostengünstigen Geräten zur hochgenauen online-Dichte- und Viskositätsmessung in kleinen Flüssigkeitsvolumina, der jedoch mit den heute verfügbaren Meßgeräten nicht gedeckt werden kann. Beispiele für eine Anwendung sind die Dichte- und Viskositätsmessung bei der Zumessung von Dieseldieselkraftstoffen in Kraftfahrzeugen, die online-Überwachung des Zustandes von Motorölen oder die Entwicklung mikrofluidischer Analysensysteme in der Chemie oder Medizin, beispielsweise zur Untersuchung physiologischer Medien wie Blut oder Urin oder zur Herstellung pharmazeutischer Produkte.

Mikrosensoren zur Dichte- und Viskositätsmessung von Flüssigkeiten lassen sich aufgrund der zugrunde liegenden Funktionsprinzipien in zwei Kategorien einteilen. Zum einen gibt es sogenannte Surface Acoustic Wave-Sensoren (SAW-Sensoren), die unter der Ausnutzung einer Wechselwirkung zwischen der Ausbreitungsstrecke einer akustischen Oberflächenwelle oder einer Bulkwellen und der zu untersuchenden Flüssigkeit arbeiten und zum anderen gibt es Sensoren, deren Messwandler aus resonant schwingenden Mikrostrukturen bestehen.

Bei der gattungsgemäßen Sensoranordnung wird von einem bekannten Messprinzip ausgegangen, das beispielsweise in dem Aufsatz "A study of Love-wave acoustic sensors", J. Du, G.L. Hardling, P.R. Ogilvy und M. Lake in der Fachzeitschrift *Sensors and Actuators A56* (1996), Seiten 211 bis 219 beschrieben ist. Mit dem hier beschriebenen Messaufbau ist ein Sensor realisiert, bei dem mit horizontal polarisierten akustischen Scherwellen als Oberflächenwellen gearbeitet wird, sog. Leckwellen (Leakywaves) bzw. Surface Skimming Bulk Wave (SSBW-Wellen) oder Love-Wellen. Diese akustischen Wellenmoden werden mit sogenannten, für sich auch aus dem zuvor erwähnten Stand der Technik bekannten, Interdigitaltransducern erzeugt und auch detektiert, so dass aus dem Ausbreitungsverhalten auf einer Ausbreitungs- oder Messstrecke das gewünschte Sensorsignal gewonnen werden kann.

Vorteile der Erfindung

Die eingangs erwähnte gattungsgemäße Sensoranordnung zur Ermittlung der Dichte und der Viskosität einer Flüssigkeit ist gemäß der Erfindung mit den kennzeichnen-

den Merkmalen des Hauptanspruchs und des nebengeordneten Verfahrensanspruches in vorteilhafter Weise weitergebildet.

Diese erfindungsgemäße Sensoranordnung erlaubt durch die Ausnutzung des Einflusses von zusätzlichen, gezielt auf der Sensoroberfläche eines Sensorgrundelements eingebrachten Störungen in einer Ausbreitungsstrecke für die akustischen Wellen in vorteilhafter Weise eine getrennte Messung von Dichte und Viskosität einer Flüssigkeit in einem Messaufbau mit einer hohen Messgenauigkeit. Bei der eingangs genannten bekannten Anordnung ist dagegen bei einer Messung mit Love-Wellenmoden nur die Erfassung eines Dichte-Viskositäts-Produkts möglich.

Für sich gesehen ist ein Viskositäts- und Dichtesensor mit einer sogenannten Quarzmikrowaage (QCM – Quartz Crystal Microbalance) für die Messung mit Bulkwellen, also nicht mit Oberflächenwellen, bekannt, bei der ähnliche Störungen in Form von Flüssigkeitsfallen angeordnet sind. Beispielsweise ist dies in dem Aufsatz "Measuring Liquid Properties with Smooth- and Textured-Surface Resonators", S.J. Martin et al. aus *IEEE*, 1993, International Frequency Control Symposium, Seiten 603 bis 608, beschrieben. Hierbei ist beispielsweise die Oberfläche des einen Schwingers mit senkrecht zur Schwingrichtung ausgerichteten Wällen aus Metall, z. B. Gold, versehen ist. Die Taschen zwischen den Wällen dienen als Flüssigkeitsfallen, wobei die darin befindliche Flüssigkeit die Schwingungsbewegung unabhängig von ihrer Viskosität ausführt.

Bei dieser bekannten Quarzmikrowaage handelt es sich um einen Dickenschwinger, der unter Nutzung des inversen piezoelektrischen Effektes durch flächige Elektroden angeregt wird. Da es in einer Flüssigphase aufgrund der Scherbewegung zu keiner direkten Abstrahlung akustischer Energie kommt, denn Schermoden sind in Flüssigkeiten nicht ausbreitungsfähig, ist die QCM auch zur Flüssigkeitsuntersuchung geeignet. Hierbei wird häufig eine Resonanzfrequenzänderung durch Massenanlagerung gemessen, wobei die QCM als frequenzbestimmendes Element in einer Oszillatorschaltung dient.

Gemäß der Erfindung wird in vorteilhafter Weise der Effekt ausgenutzt, dass es zusätzlich in viskosen Flüssigkeiten durch viskose Kopplung zu einer von Viskosität und Dichte der Flüssigkeit bedingten Frequenzverschiebung kommt. Dies kann zur Ermittlung des Dichte-Viskositätsprodukts der Flüssigkeit herangezogen werden, wobei jedoch zusätzlich der Dichte- vom Viskositätseinfluss mit dem erfindungsgemäß vorgeschlagenen Aufbau auch trennbar ist und so beide Größen unabhängig voneinander zu messen sind.

Es werden somit in Weiterbildung der gattungsgemäßen Anordnung mindestens zwei in ihrem Aufbau parallel betriebene Sensorgrundelemente in vorteilhafter Weise verwendet, wobei die Vorteile bei der Verwendung der Oberflächenwellen, insbesondere der SSBW-Wellen oder der Love-Wellen ausgenutzt werden können. Diese sind vor allem eine hohe Messempfindlichkeit, die Verwendung von gegenüber der Flüssigkeit geschützten Wandler-Elektroden, eine inerte Oberfläche und eine geringe Querempfindlichkeit.

Gegenüber der Verwendung der bekannten QCM's kann bei der erfindungsgemäßen Anordnung auf die galvanische Anbringung von Gold verzichtet und die Sensoranordnung insgesamt in einem halbleiterkompatiblen Fertigungsprozess hergestellt werden. Da das bei der bekannten Anordnung mit QCM's verwendete Gold eine sehr hohe Dichte gegenüber der Flüssigkeit aufweist, kann mit dem erfindungsgemäßen Aufbau, dessen Materialien näher an der Dichte der Flüssigkeit liegen, auch demgegenüber eine Erhöhung der Messempfindlichkeit erreicht werden.

Mit dem beanspruchten Messverfahren kann auf einfache Weise über die Auswertung von Frequenzverschiebungen ein leicht weiterzuverarbeitendes Messsignal gewonnen werden. Die Frequenzverschiebungen des Sensorgrundelements mit den Flüssigkeitsfällen weist zusätzlich zum Einfluss des Dichte-Viskositäts-Produkts eine nur durch die Dichte der Flüssigkeit und das effektive Volumen der Flüssigkeitsfallen gegebene Abhängigkeit auf. Werden nun die Frequenzverschiebungen beider Sensorgrundelemente miteinander verknüpft, können Dichte und Viskosität der Messflüssigkeit getrennt ermittelt werden.

Mit der vorliegenden Erfindung wird ein Mikrosensor vorgeschlagen, mit dem die Bestimmung von Dichte und Viskosität von Flüssigkeitsvolumina im ml-Bereich mit hoher Auflösung und Messgenauigkeit möglich ist. Dieser Sensor kann mit zur Massenfertigung geeigneten Batchprozessen kostengünstig hergestellt werden, wobei auf aus der Halbleiterfertigung bekannte Verfahren zurückgegriffen wird. Es wird somit eine Zusammenführung der Vorteile der Sensoren, die unter Ausnutzung der Wechselwirkung zwischen der Ausbreitungsstrecke einer akustischen Oberflächenwelle und der zu untersuchenden Flüssigkeit ein Messsignal erzeugen und anderer Sensoren (z. B. Bulk-Mode-Sensoren = QCM) ermöglicht, wobei die jeweils spezifischen Nachteile vermieden sind.

Diese und weitere Merkmale von bevorzugten Weiterbildungen der Erfindung gehen außer aus den Ansprüchen, einschließlich der rückbezogenen Unteransprüche, auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich allein oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei der Ausführungsform der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte sowie für sich schutzfähige Ausführungen darstellen können, für die hier Schutz beansprucht wird.

Zeichnung

Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Sensoranordnung werden anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Ansicht einer Sensoranordnung zur Ermittlung der Dichte und der Viskosität einer durch die Sensoranordnung strömenden Flüssigkeit;

Fig. 2 eine Detailansicht eines Interdigitaltransducers zur Erzeugung und Detektion akustischer Wellen;

Fig. 3 bis 5 Anordnungsvarianten der Interdigitaltransducer nach der Fig. 2;

Fig. 6 bis 8 Schnitte durch ein Substrat der Sensoranordnung mit unterschiedlichen Ausführungen der Beschichtung;

Fig. 9 eine detaillierte Draufsicht auf zwei Ausbreitungsstrecken der Messflüssigkeit in der Sensoranordnung;

Fig. 10 ein Prinzipschaltbild einer mit der Sensoranordnung gekoppelten Auswerteschaltung und

Fig. 11 eine gegenüber der Fig. 10 erweiterte Auswerteschaltung.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Aus Fig. 1 ist eine Sensoranordnung 1 in einer aufgeschnittenen Prinzipdarstellung gezeigt, durch die eine Messflüssigkeit zur Bestimmung ihrer Dichte und ihrer Viskosität von einem Eingang 2 zu einem Ausgang 3 gemäß Pfeil 4 fließt. Hauptbestandteil der vorgeschlagenen Sensoranordnung 1 ist ein einseitig poliertes Substrat 5 aus einem piezoelektrischen Werkstoff, in dem horizontal polarisierte akustische Schermoden von Sensorgrundelementen anregbar und ausbreitungsfähig sind. Als Substratwerkstoffe sind Yttriierte Quarzschnitte, einige Lithiumniobat- und Lithiumt-

antalatschnitte sowie entsprechend gepolte piezoelektrische Keramiken geeignet.

Auf der polierten Oberfläche des Substrats 5 befindet sich eine Anordnung aus metallischen Interdigitaltransducern (IDT) 6, die anhand von Fig. 2 näher erläutert werden. Diese Interdigitaltransducer 6 sind beispielsweise aus Aluminium, Titan, Chrom, Gold oder Platin, gegebenenfalls auf einer Haftschrift aus Titan oder Silizium und dienen zur Anregung und Detektion der akustischen Oberflächenwellen.

In der Fig. 2 ist einer der Interdigitaltransducer 6 im Detail gezeigt, wobei Wandlerfinger 7 akustische Wellen mit der Wellenlänge 8 (Mittenfrequenz) bei einer Anregung durch eine elektrische Spannung an einem Eingang 9 erzeugen können. Hierdurch entsteht eine akustische Oberflächenwelle, d. h. insbesondere eine Scherwelle in der Polarisationsrichtung des Pfeiles 11, mit der Apertur gemäß Pfeil 12. Gemäß eines hier nicht dargestellten Ausführungsbeispiels können die Wandlerfinger 7 auch innerhalb der Periode in zwei Einzelfinger oder auch Splitfinger aufgeteilt sein, so dass $\lambda/8$ Finger entstehen. Zwischen der elektrischen und der mechanischen Periode liegt hier der Faktor zwei, so dass eine Beseitigung oder zumindest eine Verminderung innerer Reflexionen und des sog. Triple-Transit-Echos (TTE) erreichbar ist.

Die Anordnung der Interdigitaltransducer 6 in der Sensoranordnung 1 gemäß der Fig. 1 kann nach den Ausführungsbeispielen der Fig. 3 bis 5 ausgeführt werden. Beispielsweise nach der Fig. 3 als Verzögerungsleitung mit einem Send-IDT 6a, einer Ausbreitungsstrecke 13 und einem Empfangs-IDT 6b bzw. nach der Fig. 4 als Zwei- oder nach der Fig. 5 als Eintorresonator mit einem oder zwei IDT 6 und mit Reflektorbänken 14 ausgebildet sein.

Die Sensoranordnung 1 nach der Fig. 1 enthält zwei parallel zueinander angeordnete Grundelemente mit den Interdigitaltransducern 6, wobei allerdings zur vereinfachten Auswertung und verbesserten Temperaturkompensation der Messsignale auch ein drittes paralleles, anhand dieser Figur nicht dargestelltes Sensorgrundelement angeordnet werden kann. Weiterhin ist beim Ausführungsbeispiel nach der Fig. 1 neben oder zwischen den Grundelementen mit den IDT 6 auf der Oberfläche des Substrats 5 ein mäanderförmiger Dünnschicht-Temperaturwiderstand 15 angeordnet, da insbesondere die Viskosität stark temperaturabhängig ist und somit die Temperatur eine weitere wichtige Messgröße darstellt. Als Material für den Dünnschicht-Temperaturwiderstand 15 kommt hier in vorteilhafter Weise, das Material wie für die IDT 6 in Frage, nämlich Titan/Platin oder Titan/Platin/Titan, wobei die Haftschrift entweder Titan oder auch Silizium sein kann.

Auf dem Substrat 5 nach der Fig. 1 ist oberhalb der Grundelemente mit den IDT 6 eine akustische Wellenleiter-schicht 16 angeordnet, die z. B. aus einem Ormocer, aus einer Siliziumverbindung oder einem Polymer bestehen kann, so dass aus dem allgemeinen Schermode (Leckwelle oder SSBW) der akustischen Welle ein sog. Wellenleitermode (hier eine Love-Welle) wird. Zur Trennung des Dichteinflusses vom Viskositätseinfluss bei der Messung werden oberhalb eines Grundelementes mit den IDT 6 gezielt mechanische Störungen in Form von Flüssigkeitsfallen 17 angeordnet, innerhalb derer die akustische Welle aufgrund der mechanischen Inhomogenität nicht ausbreitungsfähig ist.

Hierzu wird der Bereich vor, über und zwischen den jeweiligen Interdigitaltransducern 6 mit den parallel zur Ausbreitungsrichtung der akustischen Welle ausgerichteten Wällen 18 versehen, deren geometrische Anordnungsmöglichkeiten anhand von Fig. 6 bis 8 bzw. in der Draufsicht nach Fig. 9 erläutert wird. Diese Flüssigkeitsfallen 17 können hier durch entsprechende Strukturierung einer oberhalb

des Interdigitaltransducers 6 befindlichen Schicht 20 als Gräben 22 hergestellt werden, wie in der Fig. 6 gezeigt oder auch, wie nicht gezeigt, als Gruben oder Schwämme. Zwischen der Schicht 20 und den IDT 6 kann zur Haftungsverbesserung und/oder zum Schutz der IDT 6 eine weitere Zwischenschicht 21 vorgesehen werden. Bei der Anordnung nach der Fig. 6 werden die sog. Leckwellen oder SSB-Wellen benutzt.

Wenn es sich um ein sog. Love-Mode-Bauelement handelt, können die Flüssigkeitsfallen nach der Fig. 7 auch durch Einbringung grabenartiger Ätzungen 22 direkt in eine Wellenleiterschicht 23 erzeugt werden, die ansonsten der Wellenleiterschicht 16 nach der Fig. 1 entspricht. Die Dicke der Wellenleiterschicht 23 oberhalb des zweiten, parallelen Grundelementes mit den IDT 6 ohne die Flüssigkeitsfallen kann soweit verringert werden, dass dieselbe Empfindlichkeit beider Grundelemente erreicht wird.

Eine weitere in der Fig. 8 gezeigte Methode der Erzeugung von Flüssigkeitsfallen 17, bzw. Gräben 22 für Wellen des Love-Moden-Typs besteht in der Aufbringung und anschließenden Strukturierung einer weiteren Flüssigkeitsfallenschicht 25 oberhalb der akustischen Wellenleiterschicht 23, eventuell auch unter Verwendung einer zusätzlichen Zwischenschicht 21 als Haftvermittler und/oder als Ätzstoppschicht ähnlich des Beispiels nach der Fig. 6. Auf diese Weise wird die Reproduzierbarkeit der Grabentiefe verbessert.

Bei allen Ausführungen kann die hier nicht dargestellte Bildung von Flüssigkeitsfallen 17 durch Anordnung von Gruben mit kreisförmigem oder polygonalem Querschnitt oder einer schwammartigen Oberflächenstruktur, wie oben erwähnt, erfolgen. In allen beschriebenen Fällen kann oberhalb der Flüssigkeitsfallen eine dünne metallische Abschirmschicht 26, die wenige nm bis 100 nm dick sein kann, zur Abschirmung ungewollter, akustoelektrischer Wechselwirkungen zwischen der Messflüssigkeit und der Sensoranordnung 1 vorgesehen werden. Bei dem Ausführungsbeispiel nach der Fig. 8 kann die Zwischenschicht 21 außerdem besonders vorteilhaft gleichzeitig als Haftvermittler und Ätzstoppschicht sowie als Abschirmschicht zwischen der Wellenleiterschicht 23 und den Flüssigkeitsfallen 22 genutzt werden.

Die grundsätzliche Funktionsweise der zuvor beschriebenen Sensoranordnung 1 wird im folgenden erläutert. Durch Anlegen einer Wechselspannung an die Elektroden, bzw. Wandlerfinger 7 eines der zuvor beschriebenen Interdigitaltransducers 6 werden aufgrund des inversen piezoelektrischen Effekts wechselnde mechanische Spannungen im Substrat 5 erzeugt, die eine senkrecht zu den IDT 6 durch das Substrat 5 laufende akustische Scherwelle zur Folge haben.

Ist bei Verwendung von akustischen Wellenleiterschichten, z. B. bei einer Sensoranordnung für akustische Love-Mode-Wellen, die Scherwellengeschwindigkeit in der Wellenleiterschicht 16, 23 niedriger als im Substrat 5, kommt es zu einer Konzentration der akustischen Energie unterhalb und in dieser Schicht (sog. Wellenleitereffekt). Der so entstehende Oberflächenwellentyp wird als Love-Welle bezeichnet. Diese akustischen Wellenleitermoden weisen eine vergrößerte Empfindlichkeit auf, als die allgemeinen Schermoden, jedoch wird durch die Wellenleiterschicht 16, 23 auch die Ausbreitungsdämpfung der Welle beeinflusst. Bei einer Veränderung der Ausbreitungsbedingungen der akustischen Welle werden die Ausbreitungsgeschwindigkeit und die Dämpfung beeinflusst, so dass eine Messung dieser Wellenparameter Aussagen über die einwirkenden Größen liefern.

Befindet sich auf einem Sensorgrundelement mit den IDT

6 ein flüssiges Messmedium, so kommt es zu einer viskosen Kopplung, d. h., eine dünne Flüssigkeitsschicht an der Oberfläche des Sensorgrundelements wird zum Mitmachen der Scherschwingungen gezwungen. Die effektive Höhe der mitschwingenden Flüssigkeitsschicht (Abklügelänge) hängt direkt von der Viskosität und der Frequenz ab. Die viskose Kopplung bewirkt eine Abnahme der Ausbreitungsgeschwindigkeit der akustischen Welle sowie eine Zunahme der Wellendämpfung proportional zur Wurzel aus dem Dichte-Viskositätsprodukt.

Befinden sich nun auf der Oberfläche eines der Sensorgrundelemente als Flüssigkeitsfallen 17 wirkende Inhomogenitäten, so wird die Ausbreitungsgeschwindigkeit durch einen zweiten, von der Flüssigkeitsdichte und dem in den Flüssigkeitsfallen 17 eingeschlossenen Flüssigkeitsvolumen abhängigen Einfluss reduziert. Die Änderung der Ausbreitungsgeschwindigkeit kann beispielsweise gemessen werden, wenn ein Sensorgrundelement, z. B. mit der Verzögerungsleitung nach der Fig. 3 oder den Reflektoren 14 nach den Fig. 4 und 5 als frequenzbestimmendes Glied in einer Oszillatorschaltung eingesetzt wird. Die Veränderung der Resonanzfrequenz eines solchen Oszillators ist ein Maß für die Geschwindigkeitsänderung der Welle.

Steht nunmehr auch noch ein Sensorgrundelement mit den IDT 6 zur Verfügung, das nicht der Flüssigkeit als Messgröße ausgesetzt ist, zur Verfügung, können durch Mischen zweier Oszillatorfrequenzen Störgrößen wie z. B. Temperatureinflüsse kompensiert werden; außerdem steht als Ausgangsgröße direkt das niederfrequente Signal Δf zur Verfügung.

In Fig. 10 ist ein prinzipielles Ausführungsbeispiel eines Schaltungsaufbaus zur Ermittlung der Dichte und der Viskosität einer Messflüssigkeit mit zwei Oszillatorschaltungen 30 und 31 dargestellt. Die Oszillatorfrequenz f_1 eines Grundelementes mit den IDT 6 und Flüssigkeitsfallen 17 in der ersten Oszillatorschaltung 30 wird mit der Oszillatorfrequenz f_2 der Oszillatorschaltung 31 ohne Flüssigkeitsfallen in einem Mischer 32 gemischt, wobei die Mischfrequenz Δf am Ausgang eines nachgeschalteten Tiefpasses 33 in guter Näherung ein Maß für die Flüssigkeitsdichte ist, da der auf beide Oszillatorschaltungen 30 und 31 wirkende, viskose Einfluss sowie eventuelle weitere Störgrößen kompensiert werden. Vorausgesetzt ist dabei, dass die Empfindlichkeit gegenüber viskoser Kopplung bei beiden Sensorgrundelementen identisch ist.

Die Viskosität der Messflüssigkeit kann mit der beschriebenen Schaltungsanordnung unter Benutzung der ermittelten Dichte aus der Verschiebung der Frequenz des Sensorgrundelements ohne Flüssigkeitsfallen in der Oszillatorschaltung 31 gegenüber der bekannten Frequenz bei einem Betrieb der Messanordnung ohne eine Messflüssigkeit ermittelt werden. Auf analoge Weise kann als Messgröße hier auch die Dämpfungsänderung herangezogen werden.

Ein weiteres, erweitertes Ausführungsbeispiel einer Schaltungsanordnung zur Erfassung der erforderlichen Messgrößen ist in Fig. 11 gezeigt. In dieser Schaltungsanordnung ist zusätzlich noch eine Oszillatorschaltung 34 mit einer Messstrecke ohne die Durchleitung der Messflüssigkeit vorhanden, so dass diese Messstrecke als nicht benetztes Referenzelement dient. Diese Anordnung ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die beiden mit der Messflüssigkeit benetzten Sensorelemente aus technologischen Gründen keine identische Empfindlichkeit gegenüber viskosen Wechselwirkungen aufweisen. Außerdem werden bei dieser Anordnung mögliche Bauelementedriften zur Verbesserung der Langzeitstabilität homogenisiert.

Aus den Resonanzfrequenzverschiebungen Δf_1 und Δf_2 kann anhand des Aufbaus nach der Fig. 11 bei bekannter

Empfindlichkeit der Bauelemente gegenüber Dichte- und Viskositätsänderungen die Flüssigkeitsdichte und unter Benutzung der somit bekannten Flüssigkeitsdichte aus Δf_2 die Viskosität in der oben beschriebenen Weise ermittelt werden. Alternativ kann auch hier die Dämpfungsänderung als Messgröße genutzt werden.

Eine dritte, nicht in der Zeichnung dargestellte Ausführungsform weist zwei Sensorgrundelemente auf, die beide mit Flüssigkeitsfallen versehen sind und von denen eines mit der Messflüssigkeit und eines mit Luft in Kontakt ist. Die hier in analoger Weise zu den Ausführungsbeispielen nach den Fig. 9 bis 11 gewonnene Mischfrequenz ist dabei von der Dichte und der Wurzel aus dem Dichte-Viskositäts-Produkt abhängig. Die Dämpfungsdifferenz ist dabei auch das Maß für die Wurzel aus dem Dichte-Viskositäts-Produkt, da eine geringfügige Massezunahme durch die Messflüssigkeit in den Flüssigkeitsfallen eine vernachlässigbare Dämpfungsänderung bewirkt.

Hierbei ist somit eine Dämpfungsmessung unbedingt notwendig; allerdings ist vorteilhaft, dass nur zwei völlig identische Sensorgrundelemente notwendig sind, bei gleicher Empfindlichkeit, Drift und mechanischer Querempfindlichkeit.

Bezugszeichenliste

1 Achse	
2 Verzahnung	
3 Zahnrad	
4 Zahnrad	30
5 Sensor	
6 Sensor	
7 Magnet	
8 Magnet	
9 Auswerteschaltung	
10 Zähne der Verzahnung 2	35
11 Zähne auf dem Zahnrad 3	
12 Zähne auf dem Zahnrad 4	
20 Torsionsstab	
21 Befestigungsstelle	40
22 Hülse	
23 Verzahnung	
24 Zahnrad	

Patentansprüche

1. Sensoranordnung zur Ermittlung der Dichte und der Viskosität einer Flüssigkeit, mit
 - einer Anordnung aus mindestens zwei Sensorgrundelementen, von denen mindestens eins mit der Flüssigkeit benetzbar ist und mit
 - elektro-akustischen Wandlern (6) in den Sensorgrundelementen zur Erzeugung und Detektion akustischer Oberflächenwellen mit vorgegebenen Wellenmoden, aus deren Ausbreitungsverhalten entlang einer Messstrecke ein Maß für die Dichte und die Viskosität der Flüssigkeit ermittelbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - im Bereich mindestens eines der Sensorgrundelemente parallel zur Ausbreitungsrichtung der akustischen Oberflächenwelle, in der jeweiligen Messstrecke verlaufende Flüssigkeitsfallen (17) für die Flüssigkeit angeordnet sind.
2. Sensoranordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die ausgewerteten, akustischen Oberflächenwellen horizontal polarisierte, akustische Scherwellen des Love-Moden-Typs sind.

3. Sensoranordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die ausgewerteten, akustischen Oberflächenwellen horizontal polarisierte, akustische Scherwellen des SSBW- oder Leckwellen-Typs sind.
4. Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die elektro-akustischen Wandler aus auf einem Substrat (5) angeordneten Interdigitaltransducern (6) gebildet sind, deren Wandlerfinger (7) so ausgebildet sind, dass sich die erforderlichen Wellenmoden mit einer geeigneten Oszillatorfrequenz erzeugen lassen.
5. Sensoranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
 - jeweils ein Sensorgrundelement als Verzögerungsleitung mit zwei Interdigitaltransducern (6a, 6b) und einer dazwischenliegenden Ausbreitungs- oder Messstrecke (13) ausgebildet ist.
6. Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass
 - jeweils ein Sensorgrundelement als Zweitorresonator mit zwei nebeneinanderliegenden Interdigitaltransducern (6a, 6b) und jeweils außen liegenden Reflektoren (14) ausgebildet ist.
7. Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass
 - jeweils ein Sensorgrundelement als Eintorresonator mit einem Interdigitaltransducer (6) und jeweils außen liegenden Resonatoren (14) ausgebildet ist.
8. Sensoranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die Flüssigkeitsfallen (17) durch Gräben oder Ätzungen (22) in einer entsprechend strukturierbaren Schicht (20) oberhalb der elektro-akustischen Wandler (6), gegebenenfalls auf einer Zwischenschicht (21), gebildet sind.
9. Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die Flüssigkeitsfallen (22) durch Gräben oder Ätzungen in einer entsprechend strukturierbaren, akustischen Wellenleiterschicht (23) oberhalb der elektro-akustischen Wandler (6), gegebenenfalls mit einer äußeren, metallischen Abschirmung (26), gebildet sind.
10. Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die Flüssigkeitsfallen (17) durch Gräben oder Ätzungen in einer entsprechend strukturierbaren Schicht (20) oberhalb der elektro-akustischen Wandler (6) gebildet sind und dass
 - eine darunterliegende Zwischenschicht (21) und eine weitere, zwischen der Zwischenschicht (21) und dem elektro-akustischen Wandler (6) liegende, akustische Wellenleiterschicht (23) vorhanden ist.
11. Sensoranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die Flüssigkeitsfallen (17) durch parallel zur Ausbreitungsrichtung der akustischen Welle verlaufende Gräben (22) gebildet sind.
12. Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die Flüssigkeitsfallen (17) aus einer Anordnung von Gruben mit kreisförmigem oder polygonalem Querschnitt oder einer schwammartigen Oberflächenstruktur gebildet sind.

13. Verfahren zur Ermittlung der Dichte und Viskosität einer Flüssigkeit mit einer Sensoranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

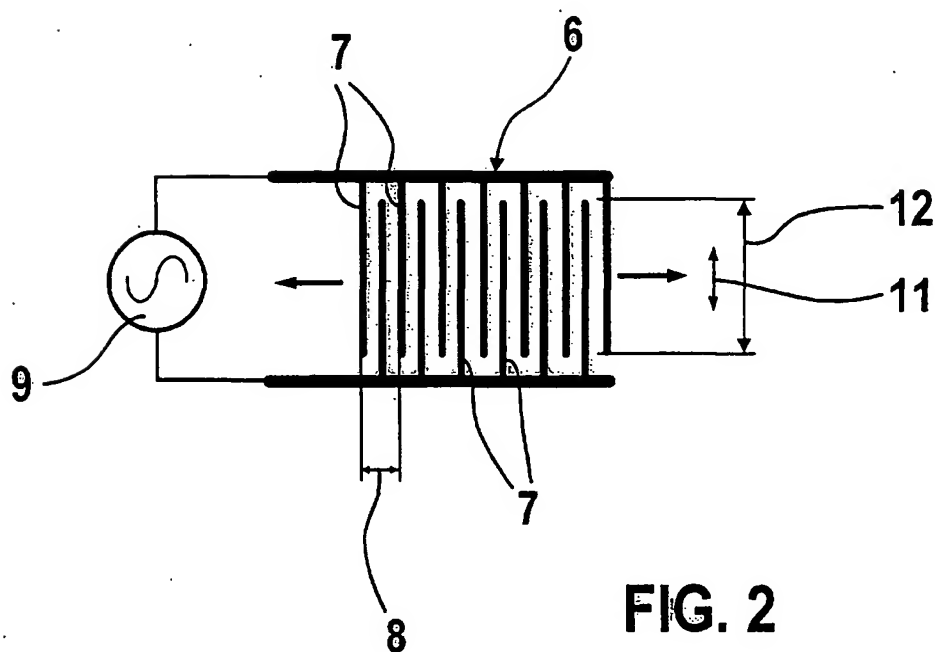
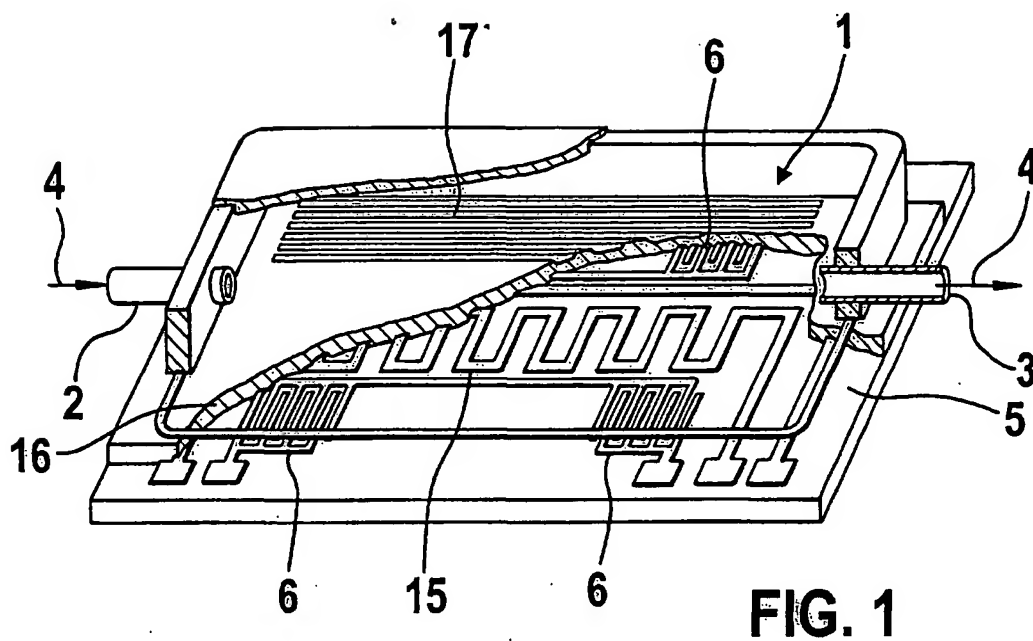
- mit einer ersten Oszillatorschaltung (30), die ein Sensorelement mit Flüssigkeitsfallen (17, 22) aufweist, eine erste Oszillatorfrequenz (f_1) erzeugt wird,
- mit einer zweiten Oszillatorschaltung (31), die ein Sensorelement ohne Flüssigkeitsfallen aufweist, eine zweite Oszillatorfrequenz (f_2) erzeugt wird, dass
- aus der Mischfrequenz (Δf) der beiden Oszillatorfrequenzen (f_1) und (f_2) die Dichte der Flüssigkeit ermittelt wird und dass
- aus der Frequenzverschiebung der Oszillatorfrequenz (f_2) der Oszillatorschaltung (31) bei einer Messung ohne Flüssigkeit gegenüber der Messung mit Flüssigkeit die Viskosität der Flüssigkeit ermittelt wird.

14. Verfahren zur Ermittlung der Dichte und Viskosität einer Flüssigkeit mit einer Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass

- mit einer ersten Oszillatorschaltung (30), die ein Sensorelement mit Flüssigkeitsfallen (17, 22) aufweist, eine erste Oszillatorfrequenz (f_1) erzeugt wird, dass
- mit einer zweiten Oszillatorschaltung (31), die ein Sensorelement ohne Flüssigkeitsfallen aufweist, eine zweite Oszillatorfrequenz (f_2) erzeugt wird, dass mit einer dritten Oszillatorschaltung (34), die ein Sensorelement ohne Flüssigkeitsfallen und ohne die zu messende Flüssigkeit aufweist, eine dritte Oszillatorfrequenz (f_3) erzeugt wird, dass
- aus der Mischfrequenz (Δf_1) der beiden Oszillatorfrequenzen (f_1) und (f_3) und der Mischfrequenz (Δf_2) der beiden Oszillatorfrequenzen (f_2) und (f_3) die Dichte der Flüssigkeit ermittelt wird und dass
- aus der Mischfrequenz (Δf_2) die Viskosität der Flüssigkeit ermittelt wird.

15. Verfahren zur Ermittlung der Dichte und Viskosität einer Flüssigkeit mit einer Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass

- mit einer ersten Oszillatorschaltung, die ein Sensorelement mit Flüssigkeitsfallen aufweist, eine erste Oszillatorfrequenz (f_1) erzeugt wird, dass
- mit einer zweiten Oszillatorschaltung, die ein Sensorelement mit Flüssigkeitsfallen und ohne die zu messende Flüssigkeit aufweist, eine zweite Oszillatorfrequenz (f_3) erzeugt wird, dass
- aus der Mischfrequenz (Δf) der beiden Oszillatorfrequenzen (f_1) und (f_2) ein Messsignal in Abhängigkeit von der Dichte und der Wurzel aus dem Dichte-Viskositäts-Produkt der Flüssigkeit ermittelt wird und dass
- aus der Dämpfungsdifferenz der beiden Oszillatorfrequenzen (f_1) und (f_2) ein Maß für die Wurzel aus dem Dichte-Viskositäts-Produkt ermittelt wird.



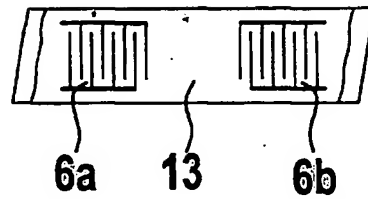


FIG. 3

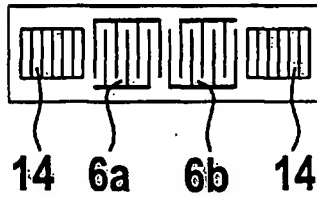


FIG. 4

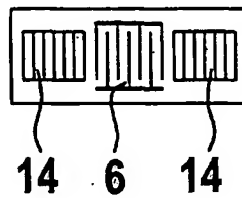


FIG. 5

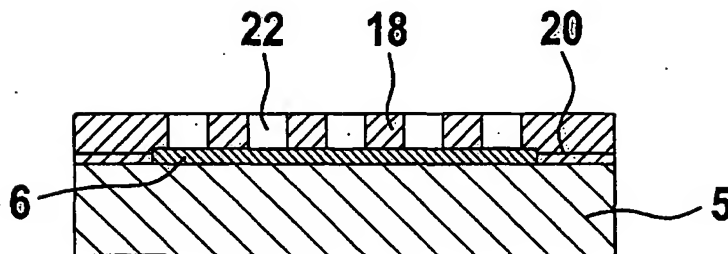


FIG. 6

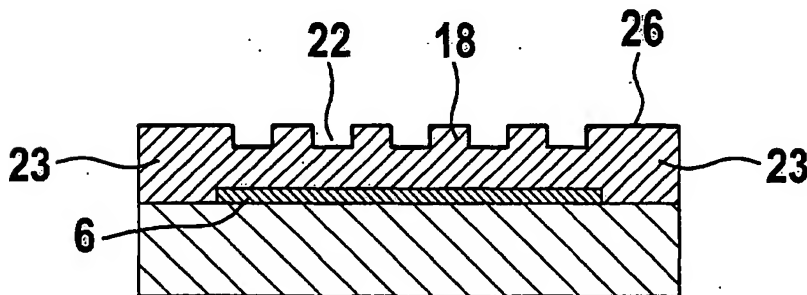


FIG. 7

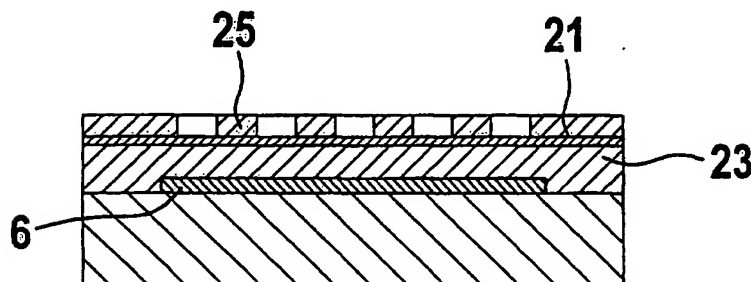


FIG. 8

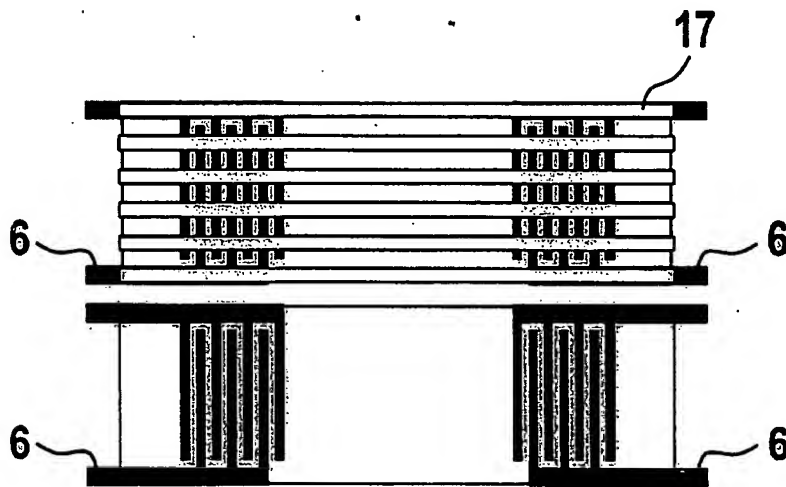


FIG. 9

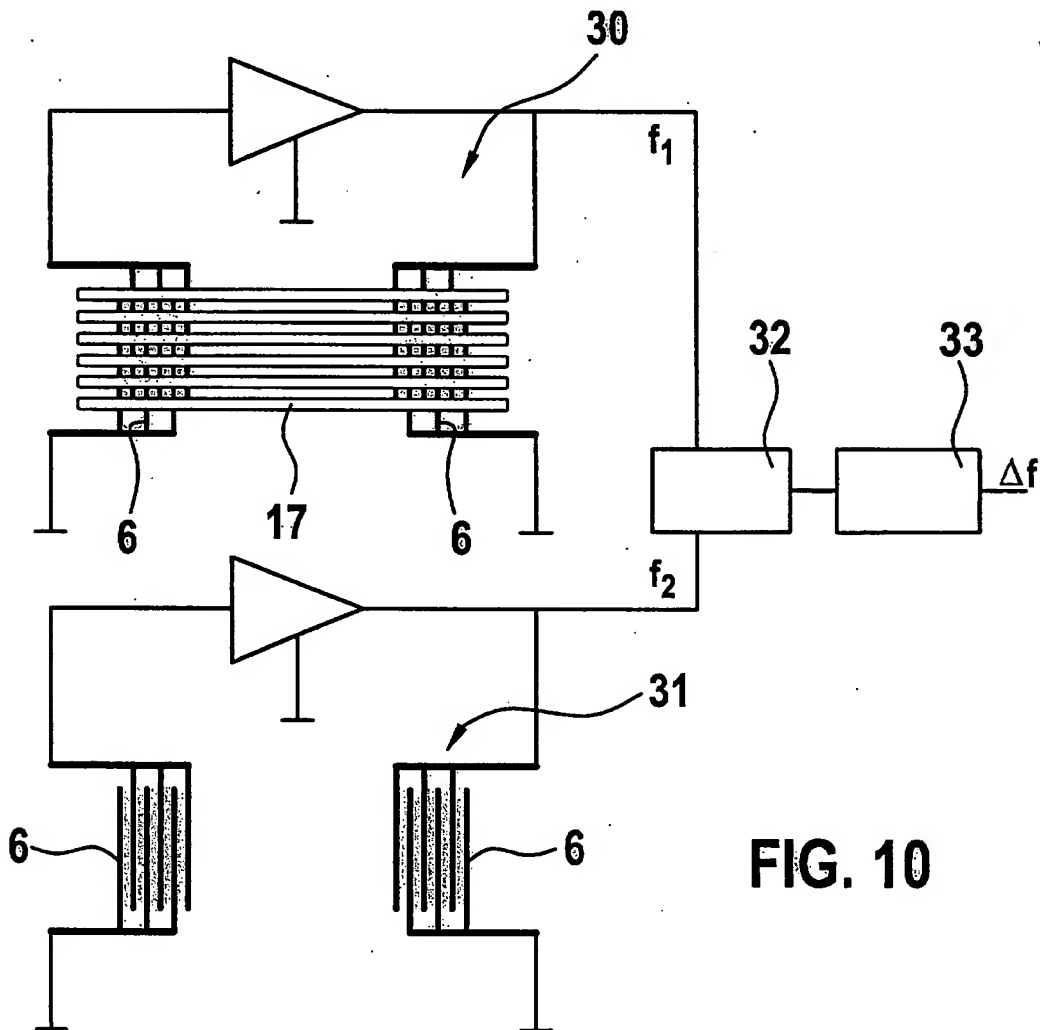


FIG. 10

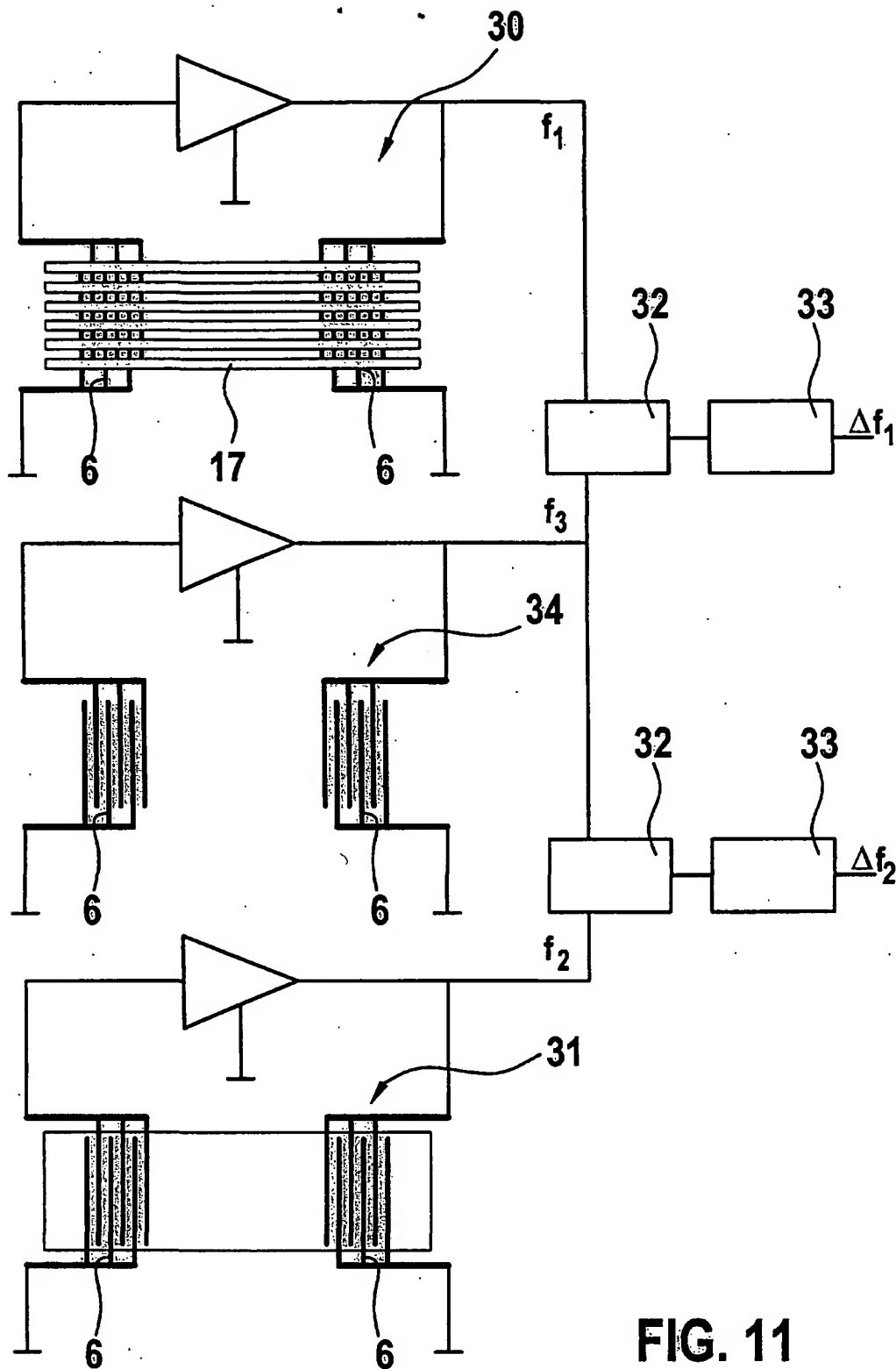


FIG. 11